



DEPARTAMENTO
DE COMPUTACION

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - UBA

Trabajo Práctico II

Programación SIMD

Organización del Computador II
Segundo Cuatrimestre de 2014

Integrante	LU	Correo electrónico
Agustina Aldasoro	86/13	agusalaldasoro@gmail.com
Maximiliano Rey	37/13	rey.maximiliano@gmail.com
Ignacio Tirabasso	718/12	ignacio.tirabasso@gmail.com



Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

Ciudad Universitaria - (Pabellón I/Planta Baja)

Intendente Güiraldes 2160 - C1428EGA

Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Rep. Argentina

Tel/Fax: (54 11) 4576-3359

<http://www.fcen.uba.ar>

Resumen

En el presente trabajo se describen los beneficios de la programación en Lenguaje Ensamblador bajo el modelo de programación SIMD mediante el uso de instrucciones SSE.

Índice

1. Objetivos generales	3
2. Contexto	3
3. Implementación en Assembler	4
3.1. Filtro CropFlip	4
3.2. Filtro Sierpinsky	6
3.3. Filtro Bandas	7
3.4. Filtro Motion Blur	8
4. Enunciado y solución	9
4.1. Mediciones	9
4.2. Filtro <i>cropflip</i>	9
4.3. Filtro <i>Sierpinski</i>	19
4.4. Filtro <i>Bandas</i>	22
4.5. Filtro <i>Motion Blur</i>	24
5. Conclusiones y trabajo futuro	25

1. Objetivos generales

El objetivo de este Trabajo Práctico es evaluar la eficiencia del modelo de programación SIMD mediante la implementación de diversos algoritmos en lenguaje Ensamblador utilizando instrucciones SSE.

Las mediciones se realizan mediante pruebas empíricas del código frente a algoritmos que cumplen la misma especificación, implementados en un lenguaje de alto nivel (C).

En este proyecto, los algoritmos a implementar se basaron en el procesamiento de imágenes y video, en el cual el uso del modelo SIMD es provechoso.

2. Contexto

Abordando el objetivo de este trabajo, realizamos una experimentación enfocada en reducir el tiempo de cómputo de un programa basado en dos sucesos que tienen la capacidad de afectarlo.

Por un lado se encuentra la *capacidad de cómputo*, la cual limita la cantidad de operaciones aritméticas que el procesador puede paralelizar. Si el programa ejecuta un uso intensivo en operaciones aritméticas, al añadirle nuevas operaciones de esta índole se van a necesitar más ciclos de clock para ejecutarlas.

El otro cuello de botella importante es el *ancho de banda de la memoria*. Cuando el programa ejecuta una instrucción que implica un acceso a memoria, se precisan más ciclos de clock para que la memoria responda, en particular si el dato no se encuentra en el cache.

Diseñamos nuestros casos de testeo con el fin de observar para cada programa cuál es el factor que determina el tiempo de cómputo.

Nuestra experimentación se centra en la cantidad de ciclos de clock que transcurren desde el inicio hasta el final de la ejecución del programa. Se adjunta con la documentación los archivos *.py utilizados para calcular la esperanza y la varianza de cada una de las mediciones.

Si lo vamos a rearmar, habria que explicar un poquito mas que hace el codigo, cuantas iteraciones y que descarta los maximos y minimos

3. Implementación en Assembler

3.1. Filtro CropFlip

Luego de pushear los cinco registros a utilizar, almacenamos:

```
Pushear la base de la pila y los registros a utilizar.
Alinear la pila.
mov r12d, [rbp+16] ;tamx
mov r13d, [rbp+24] ;tamy
mov r14d, [rbp+32] ;offsetx
mov r15d, [rbp+40] ;offsety
Limpiamos la parte alta de estos registros haciendo un mov rXd, rXd.
```

Utilizamos el registro **r10** como el *y-actual* (fuente) y el registro **r11** como el *x-actual* (fuente). Recorremos la imagen fuente desde arriba hacia abajo, de izquierda a derecha.

```
mov r10,r15 ; y
mov r11,r14 ; x
```

Utilizamos el registro **rcx** como el *y₂-actual* (destino) y el registro **rdx** como el *x₂-actual* (destino). Recorremos la imagen destino de abajo hacia arriba, de izquierda a derecha. Al registro rcx debemos decrementarlo en uno porque arranca inicializado en cero.

```
mov rcx,r13 ; y2 = tamy
dec rcx      ; y2 = tamy-1
mov rdx,0    ; x2 = 0
```

En **r13** almacenamos el límite para r10, es decir tiene que recorrer el ciclo de y hasta que alcance su límite en y (offsety+tamy).

```
add r13,r15 ; r13 = offsety+tamy
```

En **rbx** almacenamos el límite para r11, es decir tiene que recorrer el ciclo de x hasta que alcance su límite en x (offsetx+tamx)

```
mov rbx,r12 ; rbx = tamx
add rbx,r14 ; rbx = offsetx+tamx
```

Ahora comienza el ciclo de iteración sobre la variable *y*. Cada vez que se ejecuta se comprueba que el *y-actual* (**r10**) sea menor que su límite (**r13**). Y por cada iteración se reinician los valores de *x* e *x₂* a la primer columna que debemos trabajar (Para la imagen fuente es el offset inicial de la variable *x*, para la imagen destino es el 0).

```
.loop_y:
cmp r10,r13      ; y < offsety+tamy
jge .endloop_y
mov r11,r14      ; x = offsetx
mov rdx,0        ; x2 = 0
```

Por consiguiente, para cada valor que vaya tomando la variable, se debe ejecutar un ciclo para poder iterar sobre todas las columnas (Ciclo de *x*). Por cada iteración, se compara si el *x-actual* (**r11**) es menor

que su límite (**rbx**). Si no lo es, se salta fuera del ciclo de x.

Luego, comienza a ejecutar el código propio del ciclo. Es necesario tener en cuenta que:

- ★ En **r8** está cargado el *row_size* de la imagen fuente.
- ★ En **r9** está cargado el *row_size* de la imagen de destino.

Vamos a calcular en cada iteración la cantidad de posiciones en memoria (bytes) que se le deben sumar a la posición de origen de la imagen para encontrarnos en la posición actual. Esto se almacena en el registro **rax**. Primero copiamos el contenido de **r10** (*y-actual*), lo multiplicamos por el largo de cada fila para así posicionarnos en la fila actual y por último le sumamos **r11** (que indica el número de fila actual) multiplicado por 4 porque cada Pixel tiene 4 bytes. De este modo, **rax** contiene el offset que debemos sumarle a la posición en memoria de la imagen fuente para situarnos en la posición actual.

Como nos encontramos utilizando registros Xmm, vamos a trabajar con 4 pixels a la vez, de modo que entran en un solo registro. Para levantar de memoria 4 pixels, utilizamos la instrucción *movdqu*.

Por último, lo que tenemos que hacer es guardar esos 4 pixels levantados con el mismo orden en la posición correspondiente de la imagen destino. Es decir, la misma columna x y la fila y_2 va a ser la diferencia entre la cantidad de filas e y.

Análogamente a lo anterior, en **rax** se guarda el offset de la imagen destino, para acceder a memoria sumándoselo a la posición donde esta almacenada la imagen.

Se suma 4 a las variables **r11** (*x-actual*) y **rdx** (*x₂-actual*), porque en este paso avanzamos 4 pixels. Y el jump se ejecuta siempre, ya que la comparación se produce al principio del ciclo.

```
.loop_x:

cmp r11,rbx      ; x < offsetx+tamx
jge .endloop_x

mov rax,r10
imul rax,r8
lea rax,[rax+r11*4]

movdqu xmm0,[rdi+rax]

mov rax,rcx
imul rax,r9
lea rax,[rax+rdx*4]

movdqu [rsi+rax],xmm0

add r11,4
add rdx,4
jmp .loop_x
```

Una vez copiada toda una fila, debemos avanzar hacia la siguiente. De este modo: incrementamos en uno **r10** (*y-actual*) y **rcx** (*y₂-actual*).

Se ejecuta siempre un jump hacia el comienzo del ciclo en y, porque la comparación de ver si ya copiamos todas las filas se ejecuta al principio.

```
.endloop_x:
inc r10
dec rcx
jmp .loop_y
```

Una vez terminado el ciclo de y, sólo resta salir de la ejecución respetando la convención C.

```
.endloop_y:
Alinear la pila y popear todos los registros.
ret
```

3.2. Filtro Sierpinsky

Hola

3.3. Filtro Bandas

Hola

3.4. Filtro Motion Blur

Primero hacemos algunos define que vamos a necesitar luego:

```
cerocomados    dd    0.2 , 0.2 , 0.2 , 0.2
rgb_only       dd    0x00FFFFFF, 0x00FFFFFF, 0x00FFFFFF, 0x00FFFFFF
```


4. Enunciado y solución

4.1. Mediciones

Realizar una medición de performance *rigurosa* es más difícil de lo que parece. En este experimento deberá realizar distintas mediciones de performance para verificar que sean buenas mediciones.

En un sistema “ideal” el proceso medido corre solo, sin ninguna interferencia de agentes externos. Sin embargo, una PC no es un sistema ideal. Nuestro proceso corre junto con decenas de otros, tanto de usuarios como del sistema operativo que compiten por el uso de la CPU. Esto implica que al realizar mediciones aparezcan “ruidos” o “interferencias” que distorsionen los resultados.

El primer paso para tener una idea de si la medición es buena o no, es tomar varias muestras. Es decir, repetir la misma medición varias veces. Luego de eso, es conveniente descartar los outliers¹, que son los valores que más se alejan del promedio. Con los valores de las mediciones resultantes se puede calcular el promedio y también la varianza, que es algo similar al promedio de las distancias al promedio².

Las fórmulas para calcular el promedio μ y la varianza σ^2 son

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}$$

4.2. Filtro *cropflip*

Programar el filtro *cropflip* en lenguaje C y luego en ASM haciendo uso de las instrucciones vectoriales (SSE).

Experimento 1.1 - análisis el código generado

En este experimento vamos a utilizar la herramienta `objdump` para verificar como el compilador de C deja ensamblado el código C.

Ejecutar

```
objdump -Intel -D cropflip_c.o
```

¿Cómo es el código generado? Indicar a) Por qué cree que hay otras funciones además de `cropflip_c` b) Cómo se manipulan las variables locales c) Si le parece que ese código generado podría optimizarse

Muchas de las funciones generadas se agregan al compilar usando parámetros de debugging.

El cambio que puede notarse a simple vista es que el tamaño del código generado con optimización es considerablemente menor al generado sin optimizaciones, un 34 % menor. Por otro lado, calcula una única vez la posición de la cual deberá leer el pixel a procesar, ya que es una operación que se realiza cuatro veces por cada lectura y escritura de un pixel.

El código optimizado también disminuye el uso del stack para variables locales y en su lugar utiliza registros, por esa razón necesita armar el stackframe y pushear los registros que la convención C pide preservar. Esto no se da en el código sin optimizar, todas las variables locales se guardan en el stack, se asignan a algún registro libre al momento de usarla y luego vuelve a ser guardada en el stack. Si bien la cantidad de accesos a memoria es sustancialmente mayor en el código sin optimizar por el hecho de que se accede constantemente a las variables locales alojadas en el stack, también hay que considerar que al haber tantos accesos al stack el hit-rate de la caché debería ser bastante alto, agilizando la lectura, no así la escritura.

Experimento 1.2 - optimizaciones del compilador

¹en español, valor atípico: http://es.wikipedia.org/wiki/Valor_atípico

²en realidad, elevadas al cuadrado en vez de tomar el módulo

Compile el código de C con flags de optimización. Por ejemplo, pasando el flag `-O1`³. Indicar 1. Qué optimizaciones observa que realizó el compilador 2. Qué otros flags de optimización brinda el compilador 3. Los nombres de tres optimizaciones que realizan los compiladores.

GCC provee un arsenal de optimizaciones disponibles para que podamos usar cuando lo creamos conveniente, asimismo provee unos flags para poder compilar el código con un conjunto de optimizaciones, estos son O1, O2, O3, Os, entre otros. O1, O2 y O3 son optimizaciones generales no agresivas, es decir, no deberían modificar el funcionamiento del programa. Otras optimizaciones podrían asumir que todas las operaciones aritméticas son sin signo o que están bien implementadas y no es necesario chequear la consistencia de los resultados (`fno-math-errno`). Estas optimizaciones tienen como objetivo mejorar la performance del programa, sin embargo Os tiene como objetivo reducir el tamaño del ejecutable, es decir, activa todas las optimizaciones que contribuyen a reducir la cantidad de instrucciones regardless del impacto que esto pueda tener en la performance del programa.

Concretamente al activar las optimizaciones O3 en *cropflip* el cambio más notorio es que GCC utiliza instrucciones SSE para procesar 4 pixels por iteración, lo cual le brinda un boost de velocidad impresionante. Además de haberse reducido la cantidad de instrucciones.

Experimento 1.3 - calidad de las mediciones

1. Medir el tiempo de ejecución de *cropflip* 10 veces. Calcular el promedio y la varianza. Consideraremos outliers a los 2 mayores tiempos de ejecución de la medición y también a los 2 menores, por lo que los descartaremos. Recalcular el promedio y la varianza después de hacer este descarte. Realizar un gráfico que presente estos dos últimos items.

Luego de ejecutar 10 veces el filtro *Cropflip* obtuvimos los siguientes resultados:

ASM	C
70.925	1.152.187
70.521	1.151.544
32.859	761.937
43.720	649.248
64.236	1.152.847
70.793	1.153.061
71.271	1.152.765
44.616	1.152.798
56.124	725.420
71.775	1.155.718
Esperanza	
59.684	1.020.752,5
Desvío standard	
13.720,5329	203.626,443

Aca puso Matias que el desvio standar en c no le da, VOLVER A CALCULARLO.

El cuadro denota la cantidad de ciclos de clock utilizada por cada ejecución del programa.

Luego de eliminar los dos valores más altos y los dos valores más bajos, recalculamos obteniendo los siguientes datos:

Esperanza: 62.869,166 (ASM) y 1.087.346,333(C)

Desvío standard: 9.719,205 (ASM) y 145.528,202(C)

Se puede ver que al eliminar los outliers, la esperanza comienza a converger a su valor esperado y el desvío standard disminuye.

³agregando este flag a `CCFLAGS64` en el `makefile`

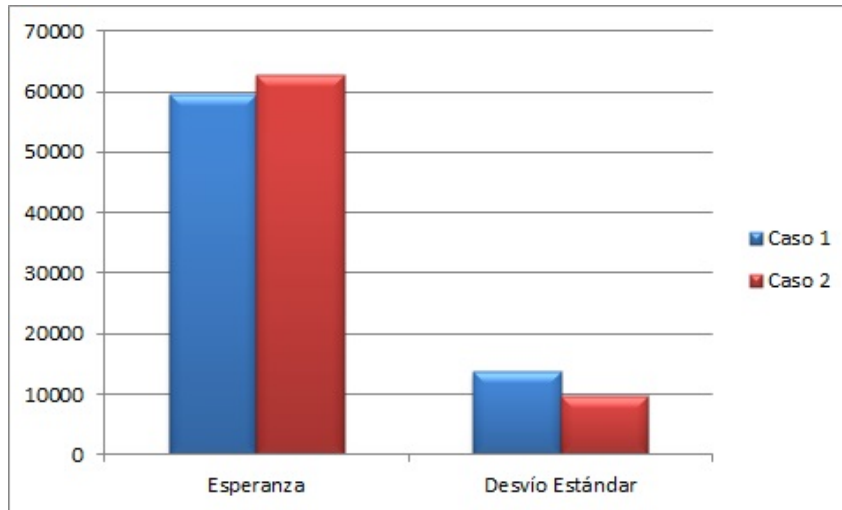


Figura 1: Assembler

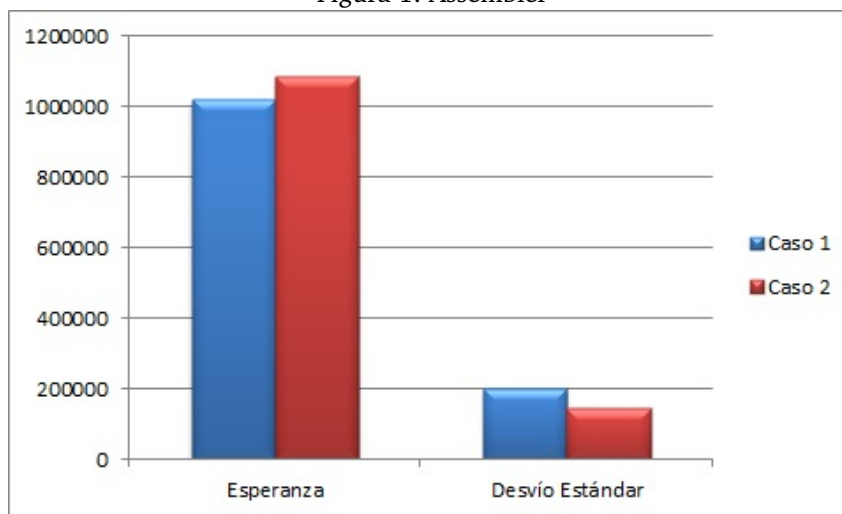


Figura 2: C

Siendo el Caso 1 las mediciones de esperanza y Desvío standard para todos los casos de test y el Caso 2 las mediciones sin tener en cuenta los cuatro outliers.

2. Implementar un programa en C que no haga más que ciclar infinitamente sumando 1 a una variable. Lanzar este programa tantas veces como *cores lógicos* tenga su procesador. Medir otras 10 veces mientras estos programas corren de fondo. Realizar los mismos casos de experimentación que en el ejercicio anterior.

Los resultados obtenidos en esta experimentación fueron menores que los anteriores:

ASM	C
33.585	542.928
33.798	544.155
33.402	544.857
33.228	543.687
33.159	543.252
33.441	543.324
34.089	544.224
33.768	760.359
34.563	542.448
34.473	542.982
Esperanza	
33.750,6	565.221,6
Desvío standard	
465,49	65.049,34

Luego de eliminar los dos valores más altos y los dos valores más bajos, recalculamos obteniendo los siguientes datos:

Esperanza: 33.680,5 (ASM) y 543.604(C)

Desvío standard: 235,364 (ASM) y 462,615(C)

Acá también se puede apreciar que al eliminar los outliers, el Desvío standard disminuye su valor.

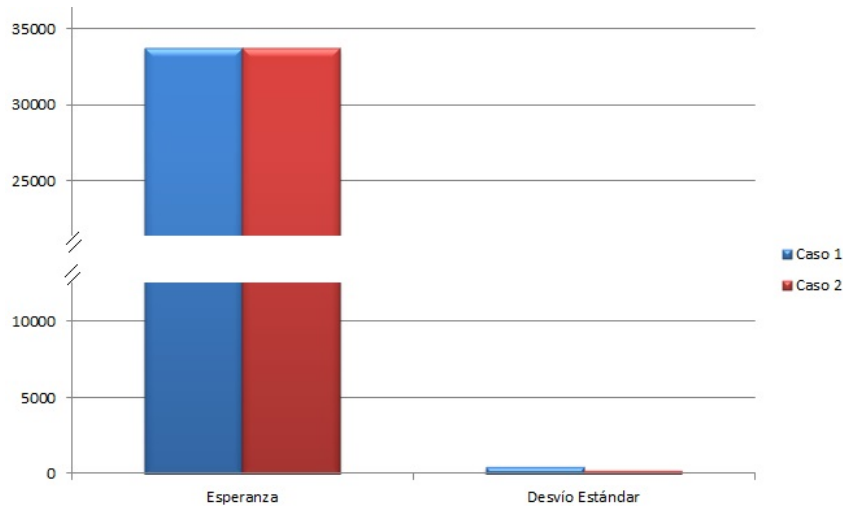


Figura 3: Assembler

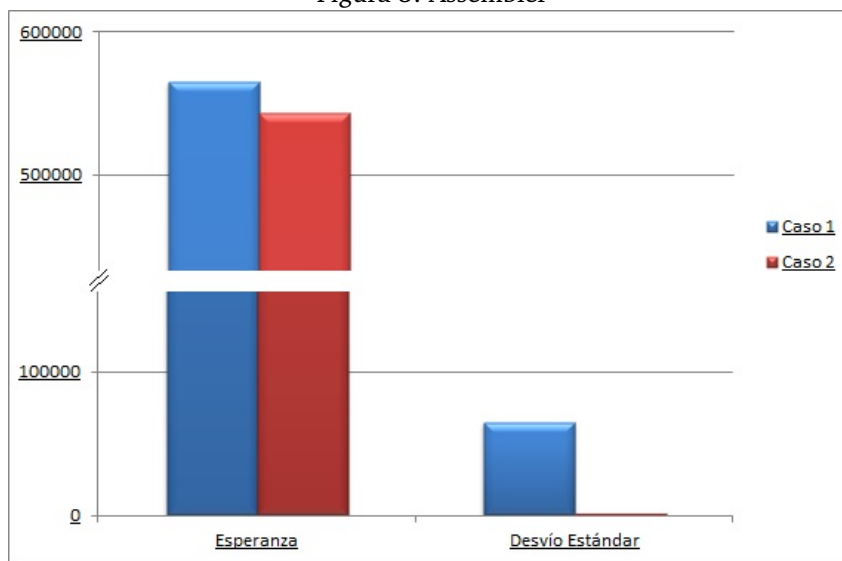


Figura 4: C

Siendo el Caso 1 las mediciones de esperanza y Desvío standard para todos los casos de test y el Caso 2 las mediciones sin tener en cuenta los cuatro outliers. Se puede observar que las mediciones mejoran con la ejecución del ciclo infinito de fondo, esto se debe a que fue ejecutado en una computadora con un procesador i5. **Podría explicarse un poco mas que pasa con los is**

Por este motivo, volvimos a ejecutar este caso una mayor cantidad de veces para que el procesador no modifique la frecuencia de clock, obteniendo los siguientes resultados:

Esperanza: 269.945,590 (ASM) y 9.524.152,001 (C)

Desvío Standard: 3.801,837 y 7.774.736,417 (C)

El grafico mas importante es este, HACERLO Y SACAR EL OTRO.

A partir de aquí todos los experimentos de mediciones deberán hacerse igual que en el presente ejercicio: tomando 10 mediciones, luego descartando outliers y finalmente calculando promedio y Desvío standard.

Decidimos:

Realizar 12000 mediciones por experimento, eliminando los primeros mil casos que hayan llevado menos ciclos de clock y los mil casos que hayan llevado la mayor cantidad de ciclos de clock.

Lo determinamos de esta manera, ya que dejar dos mediciones afuera, como dice el enunciado, no tiene

influencia en los cálculos de la esperanza y la varianza para muestras tan grandes.

Luego de experimentar distintas cantidades de casos de testeo, notamos que elegir 7000 valores pertenecientes a la franja del medio de los 12000 es una solución lo suficientemente estable, por lo cual es la que llevamos a cabo.

Experimento 1.4 - secuencial vs. vectorial

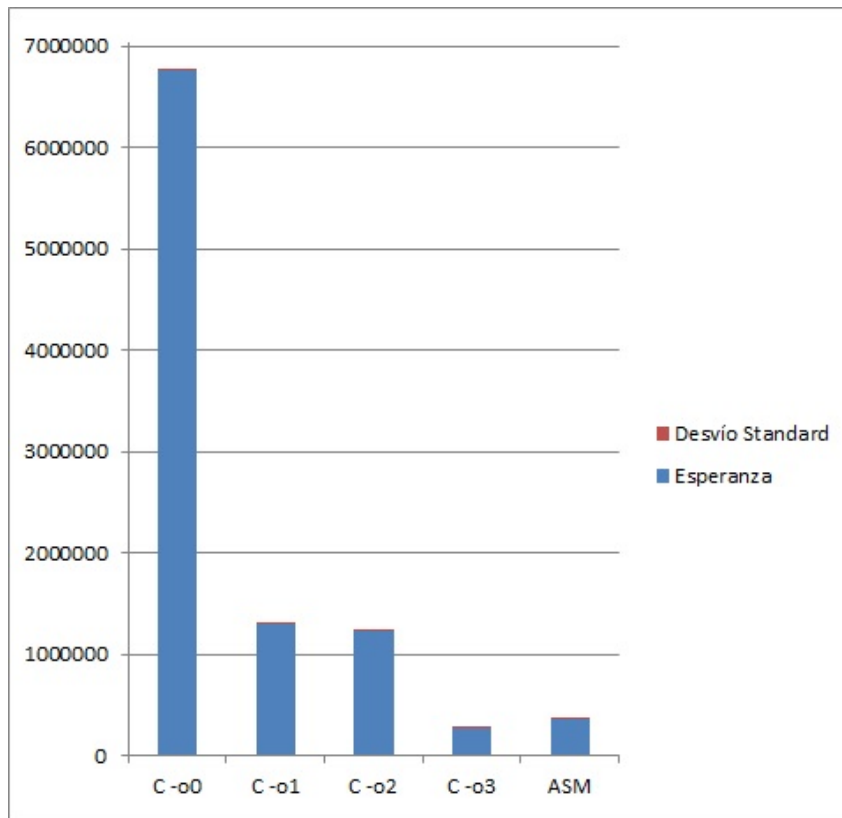
En este experimento deberá realizar una medición de las diferencias de performance entre las versiones de C y ASM (el primero con -O0, -O1, -O2 y -O3) y graficar los resultados.

El siguiente gráfico indica la esperanza de la cantidad de ciclos de clock que toma ejecutar el filtro Cropflip con los parámetros 404 404 4 4 en ASM y en C variando los flags de o0 a o3.

Reflejando las siguientes magnitudes:

	Esperanza	Desvío Standard
C -o0	6.761.044,5	131,463
C -o1	1.300.109	53,447
C -o2	1.227.102,5	50,143
C -o3	266.688	0,287
ASM	362.232	2,079

Se puede observar que la varianza es casi despreciable considerando el valor de la esperanza. Además, es notorio cómo el correr el programa con la orden de -o0 no efectúa ninguna optimización. También se puede observar que el código corrido en C bajo el comando de -o3 tiene una esperanza menor a la del código Assembler.



Experimento 1.5 - cpu vs. bus de memoria

Se desea conocer cual es el mayor limitante a la performance de este filtro en su versión ASM.

¿Cuál es el factor que limita la performance en este caso? En caso de que el limitante fuera la intensidad de cómputo, entonces podrían agregarse instrucciones que realicen accesos a memoria extra y la performance casi no debería sufrir. La inversa puede aplicarse, si el limitante es la cantidad de accesos a memoria.⁴

Realizar un experimento, agregando 4, 8 y 16 instrucciones aritméticas (por ej `add rax, rbx`) analizando como varía el tiempo de ejecución. Hacer lo mismo ahora con instrucciones de acceso a memoria, haciendo mitad lecturas y mitad escrituras (por ejemplo, agregando dos `mov rax, [rsp]` y dos `mov [rsp+8], rax`).⁵

Realizar un único gráfico que compare: 1. La versión original 2. Las versiones con más instrucciones aritméticas 3. Las versiones con más accesos a memoria **Poner que instrucciones usamos!!!**

Acompañar al gráfico con una tabla que indique los valores graficados.

Cropflip	Esperanza	Desvío Standard
Versión común	157.236,897	5.334,414
Con 4 instrucciones aritméticas	183.968,425	8.391,506
Con 8 instrucciones aritméticas	225.991,244	7.729,428
Con 16 instrucciones aritméticas	707.857,067	12.756,322
Con 4 accesos a memoria	281.032,176	11.258,907
Con 8 accesos a memoria	352.370,777	14.353,789
Con 16 accesos a memoria	342.023,334	12.136,799

⁴también podría pasar que estén más bien balanceados y que agregar cualquier tipo de instrucción afecte sensiblemente la performance

⁵Notar que en el caso de acceder a `[rbp]` o `[rsp+8]` probablemente haya siempre hits en la cache, por lo que la medición no será de buena calidad. Si se le ocurre la manera, realizar accesos a otras direcciones alternativas.

Se puede percibir cómo se ve afectado el tiempo de ejecución frente al incremento de instrucciones aritméticas más que por los accesos a Memoria.

Esta conclusion no se desprende inmediatamente del grafico. Con 4 y 8 accesos a memoria, el programa es más lento. Con 16 accesos pasa algo no intuitivo, que al menos debería mencionarse (y para intentar entenderlo es clave que pongan qué accesos usaron).

El pico de 16 instrucciones aritméticas tampoco me resulta intuitivo a simple vista.

4.3. Filtro *Sierpinski*

Programar el filtro *Sierpinski* en lenguaje C y en en ASM haciendo uso de las instrucciones vectoriales (SSE).

Experimento 2.1 - secuencial vs. vectorial

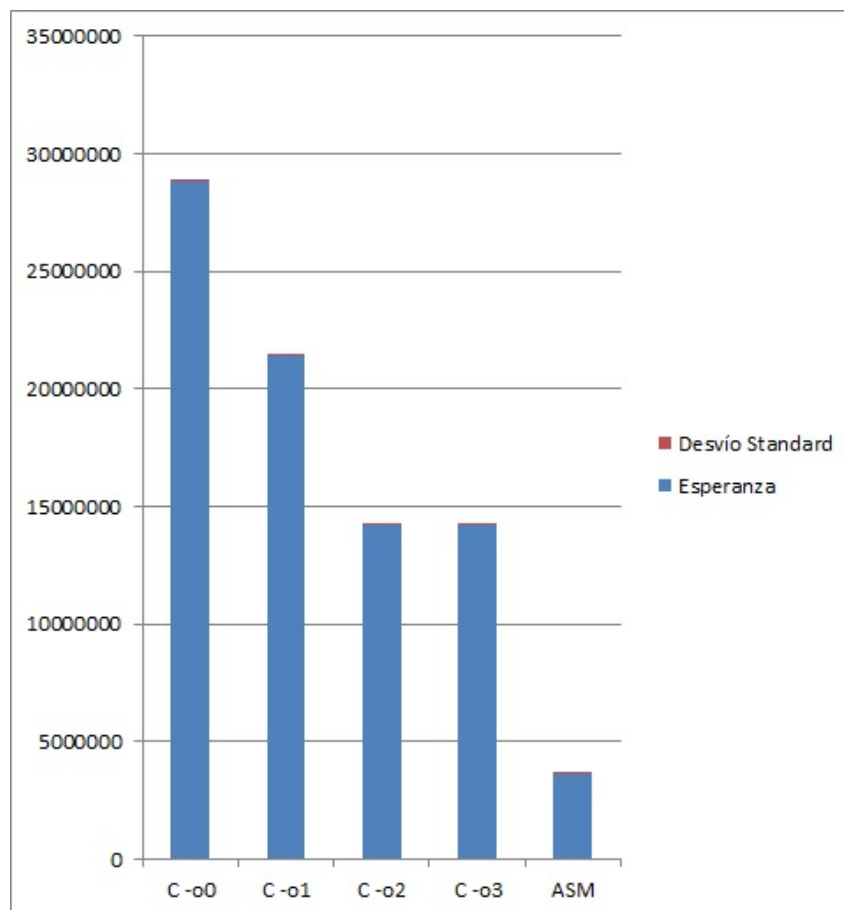
Analizar cuales son las diferencias de performace entre las versiones de C y ASM de este filtro, de igual modo que para el experimento 1.4.

El siguiente gráfico indica la esperanza de la cantidad de ciclos de clock que toma ejecutar el filtro *Sierpinski* en ASM y en C variando los flags de o0 a o3.

Reflejando las siguientes magnitudes:

	Esperanza	Desvío Standard
C -o0	28.801.586,5	78,016
C -o1	21.395.732	78,447
C -o2	14.231.758	116,445
C -o3	14.229.650	116,022
ASM	3.661.626	115,583

Aquí también el valor del desvío standard es despreciable. Donde correr el código en C bajo el comando -o0 sigue siendo el caso con mayor esperanza y además la esperanza del código Assembler es menor a la del código C con -o3.



Experimento 2.1 - cpu vs. bus de memoria

¿Cuál es el factor que limita la performance en este filtro? Repetir el experimento 1.5 para este filtro.

	Esperanza	Desvío Standard
Versión común	2.936.302,152	26.416,331
Con 4 instrucciones aritméticas	2.961.773,596	47.749,307
Con 8 instrucciones aritméticas	2.940.553,343	59.912,727
Con 16 instrucciones aritméticas	3.031.280,298	37.499,415
Con 4 accesos a memoria	2.919.253,679	57.697,386
Con 8 accesos a memoria	2.936.432,138	56.870,171
Con 16 accesos a memoria	3.051.926,505	40.964,812

En este caso, los accesos a memoria influyen más notoriamente la esperanza que las operaciones aritméticas lógicas.

Algo parecido al experimento 1.5
Además se podría mencionar que el desvío standard es elevado.

4.4. Filtro *Bandas*

Programar el filtro *Bandas* en lenguaje C y en en ASM haciendo uso de las instrucciones vectoriales (SSE).

Experimento 3.1 - saltos condicionales

Se desea conocer que tanto impactan los saltos condicionales en el código de filtro *Bandas* con -O1 (la versión en C).

Para poder medir esto de manera aproximada, remover el código que detecta a que banda pertenece cada pixel, dejando sólo una banda. Por más que la imagen resultante no sea correcta, será posible tomar una medida aproximada del impacto de los saltos condicionales. Analizar como varía la performance.

En la siguiente figura se ve cómo varía la esperanza y el desvío standard entre dos corridas de C con el flag -O1 ambas:

En el gráfico anterior se puede ver que la influencia de los saltos condicionales es notable.

Experimento 3.2 - secuencial vs. vectorial

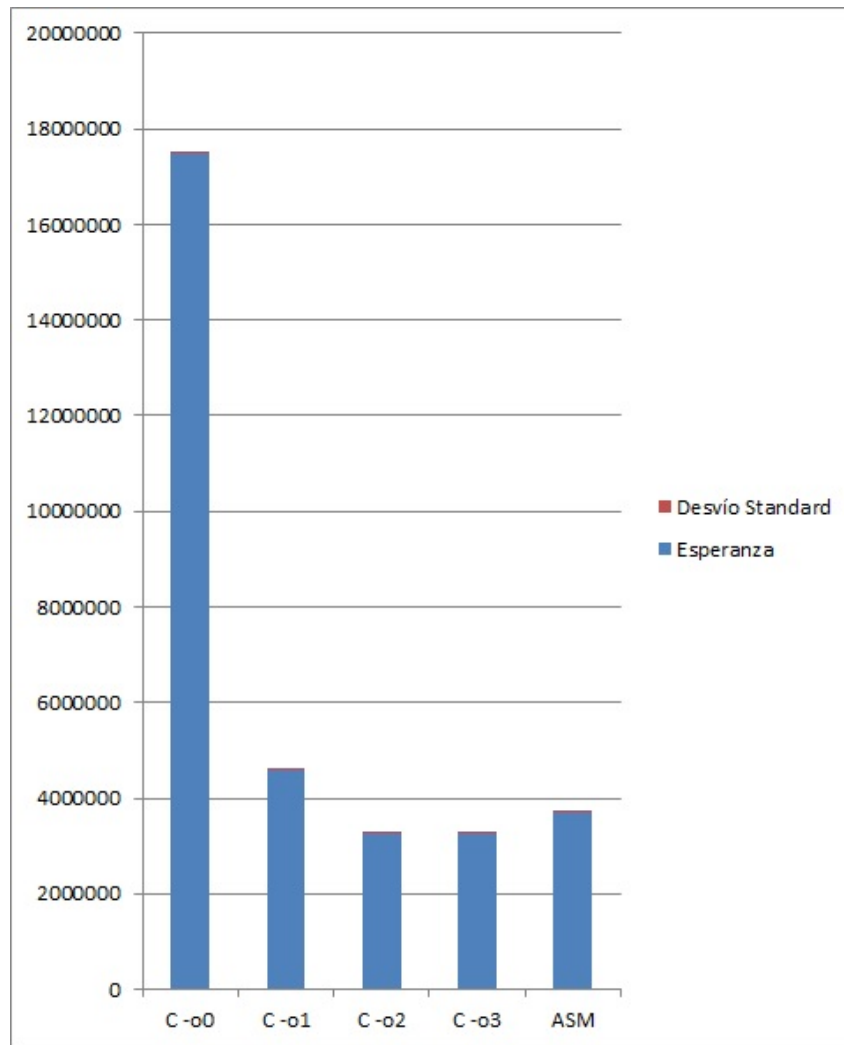
Repetir el experimento 1.4 para este filtro.

El siguiente gráfico indica la esperanza de la cantidad de ciclos de clock que toma ejecutar el filtro *Bandas* en ASM y en C variando los flags de o0 a o3.

Reflejando las siguientes magnitudes:

	Esperanza	Desvío Standard
C -o0	17.472.791	120,620
C -o1	4.583.340	128,514
C -o2	3.259.839	117,746
C -o3	3.259.767	117,391
ASM	3.703.203,5	115,659

Aquí también el valor del desvío standard es despreciable. En este caso, el tiempo de ejecución del código con el comando de -o3 tiene una esperanza menor a la del código Assembler. **y -o2 tambien, por que?**



4.5. Filtro *Motion Blur*

Programar el filtro *mblur* en lenguaje C y en ASM haciendo uso de las instrucciones **SSE**.

Experimento 4.1

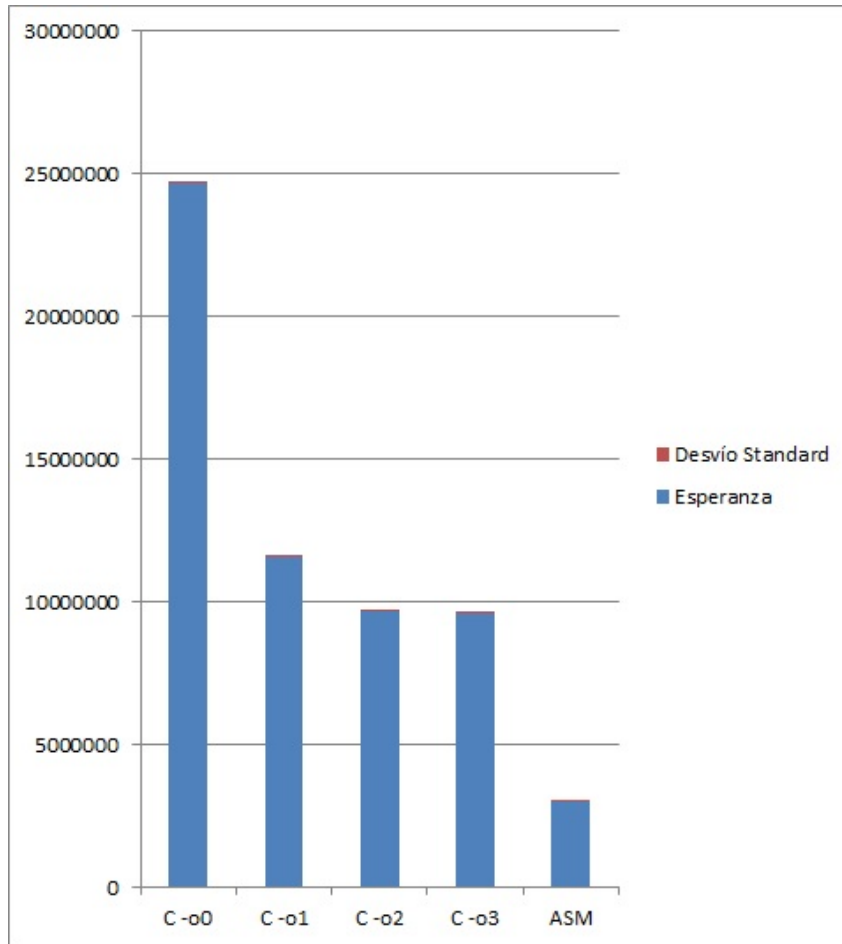
Repetir el experimento 1.4 para este filtro

El siguiente gráfico indica la esperanza de la cantidad de ciclos de clock que toma ejecutar el filtro Bandas en ASM y en C variando los flags de o0 a o3.

Reflejando las siguientes magnitudes:

	Esperanza	Desvío Standard
C -o0	24.652.732,5	117,738
C -o1	11.562.261	103,024
C -o2	9.641.346	78,159
C -o3	9.639.625	78,227
ASM	2.993.980,5	118,245

Aquí también el valor del desvío standard es despreciable. Donde las optimizaciones del compilador en la versión -o3 no son suficientes para tener una esperanza menor a la esperanza obtenida bajo el código Assembler.



5. Conclusiones y trabajo futuro

Si bien un lenguaje ensamblador solo es utilizable en determinada gama de procesadores (ESTO HAY QUE SACARLO DIJO MATIAS), los resultados de nuestras mediciones han demostrado que la implementación de los filtros en este lenguaje han logrado una performance que el gcc no logro conseguir.

Dada la popularidad de la arquitectura de 64 bits de intel, se puede concluir que la implementación del SIMD en assembler tiene un precio razonable frente a la performance alcanzada.